

尻別川の河口維持 に関する研究

清水康行(北海道大学大学院工学研究科)

田中仁(東北大学大学院工学研究科)

山下俊彦(北海道大学大学院工学研究科)

早川博(北見工業大学工学部)

古路一哉(北海道開発局小樽開発建設部)

概要

尻別川は北海道南西部に位置し、その源を支笏湖とフレ岳に発し、羊蹄山とニセコ山系を貫流し日本海に注ぐ流路延長126km、流域面積1,640km²計画高水流量3,200m³/s(河口)の一級河川。また当河川はカワヤツメ、アユ、サクラマス、サケ等の遡上河川でもある。





原野川

昭和32年9月28日撮影



昭和43年6月撮影



日本海

昭和48年7月1日撮



昭和50年8月24日撮影



渡谷橋

昭和53年8月18日撮影



平成10年9月撮影







凡 例

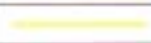
昭和32年9月撮影	— (Blue line)
昭和43年6月撮影	— (Green line)
昭和48年7月撮影	— (Red line)
昭和53年8月撮影	— (Yellow line)
平成10年9月撮影	— (Brown line)

平成10年9月撮影



凡 例

平成 10 年 10 月撮影



平成 11 年 10 月撮影



平成 11 年 10 月撮影



H9 春



H9 夏



H9 秋



H9 冬

尻別川河口の現状と問題点

尻別川河口域で、冬期に北西の季節風による波浪とそれによる沿岸漂砂、濁水による河口閉塞が発生

尻別川河口域の抱える問題

水位上昇に伴う内水氾濫及び堤防への負荷の増大

川幅と開口位置が不安定なため、漁船の出入りに支障をきたしている

遡河性魚類の遡上への影響

研究の目的

尻別川最良の河口処理を検討するため、河口域の砂州特性及び周辺海域の水理特性を把握する必要があり、本研究はこうした特性を明らかにして、尻別川河口域計画の策定に対する基礎資料とするものである。

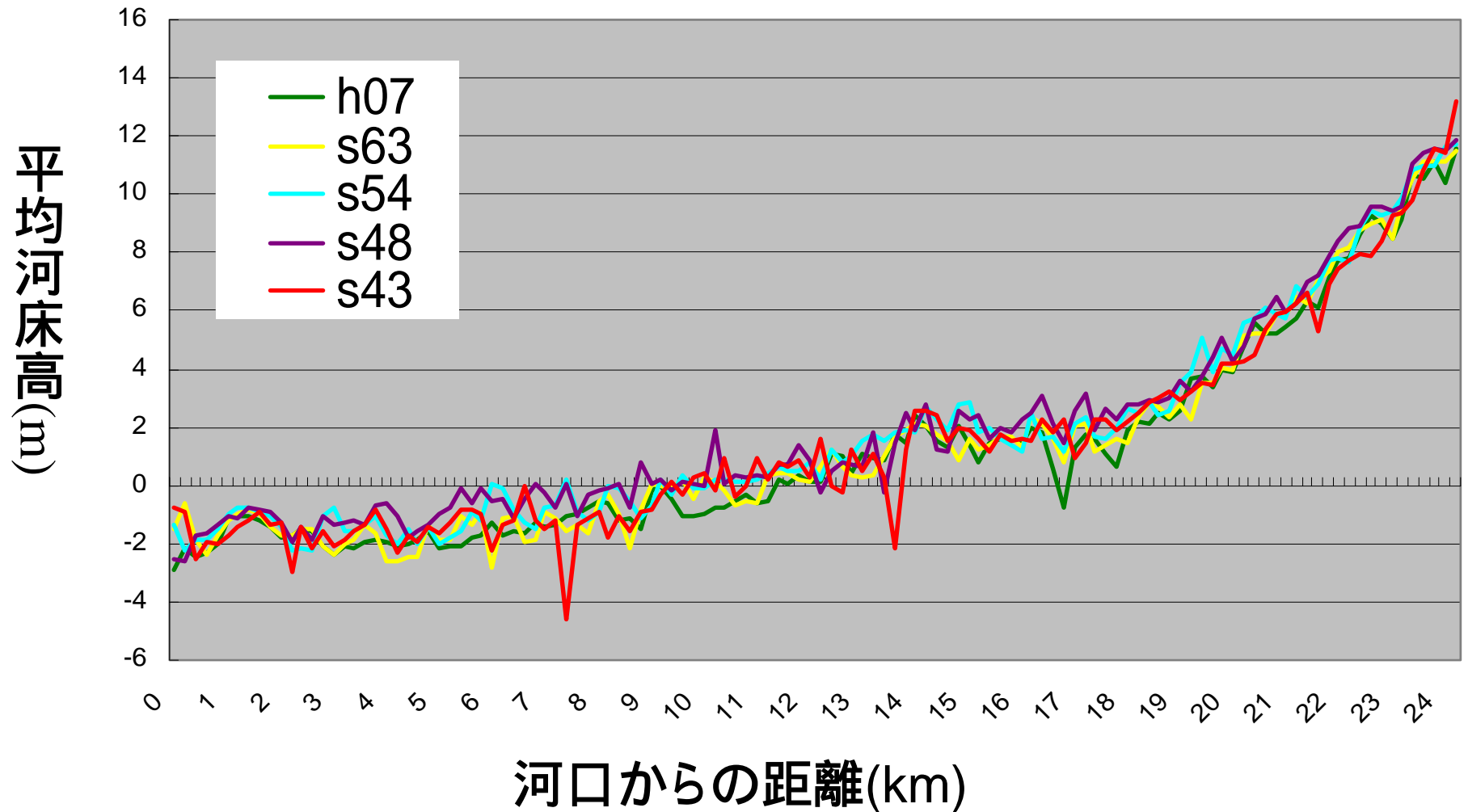
- (1) 土砂流出特性の検討
- (2) 海域の土砂流出特性の検討
- (3) 河口砂州と河口水位特性の検討



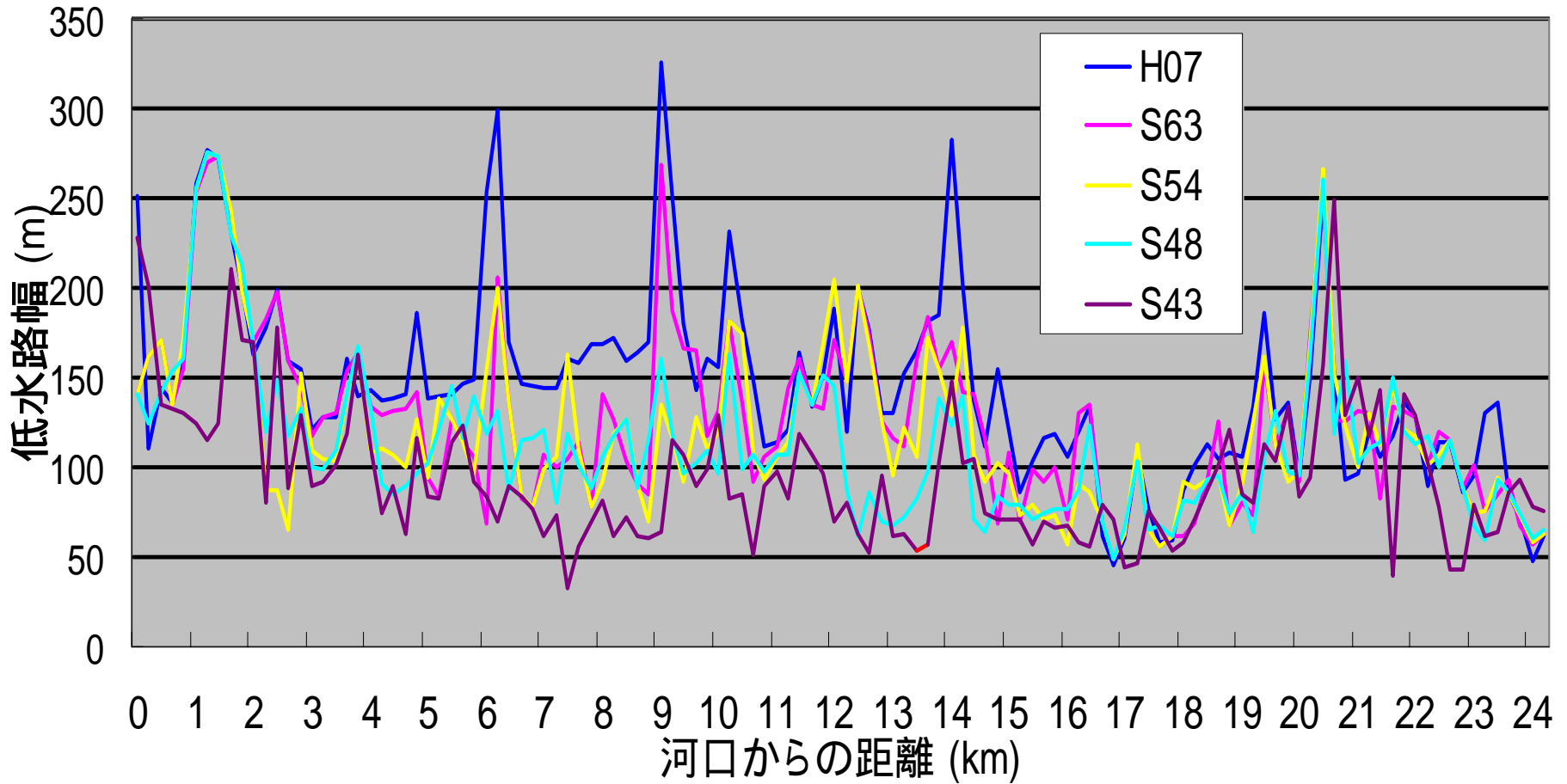
河道・海域の対策工を含むシミュレーションモデルへの境界条件提供

(1) 尻別川の土砂流出特性の検討

尻別川平均河床高変化図



尻別川低水路幅変化図

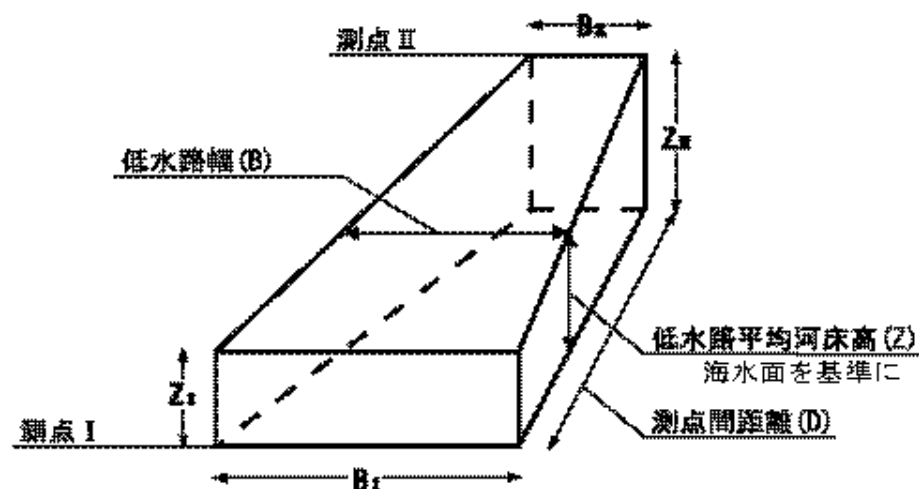


横断面の変動から土砂収支を概算

測点Ⅰ～Ⅱ間に次のような物体を考え、この物体の体積変化が測点Ⅰ～Ⅱ間における土砂収支であるとした。

$$V = \frac{(Z_I + Z_{II}) \cdot (B_I + B_{II})}{2} \cdot D$$

で計算した。



たとえば、Ⅰ～Ⅱ間の昭和43年のこの物体の体積を V_{43} 、昭和48年の体積を V_{48} とすれば

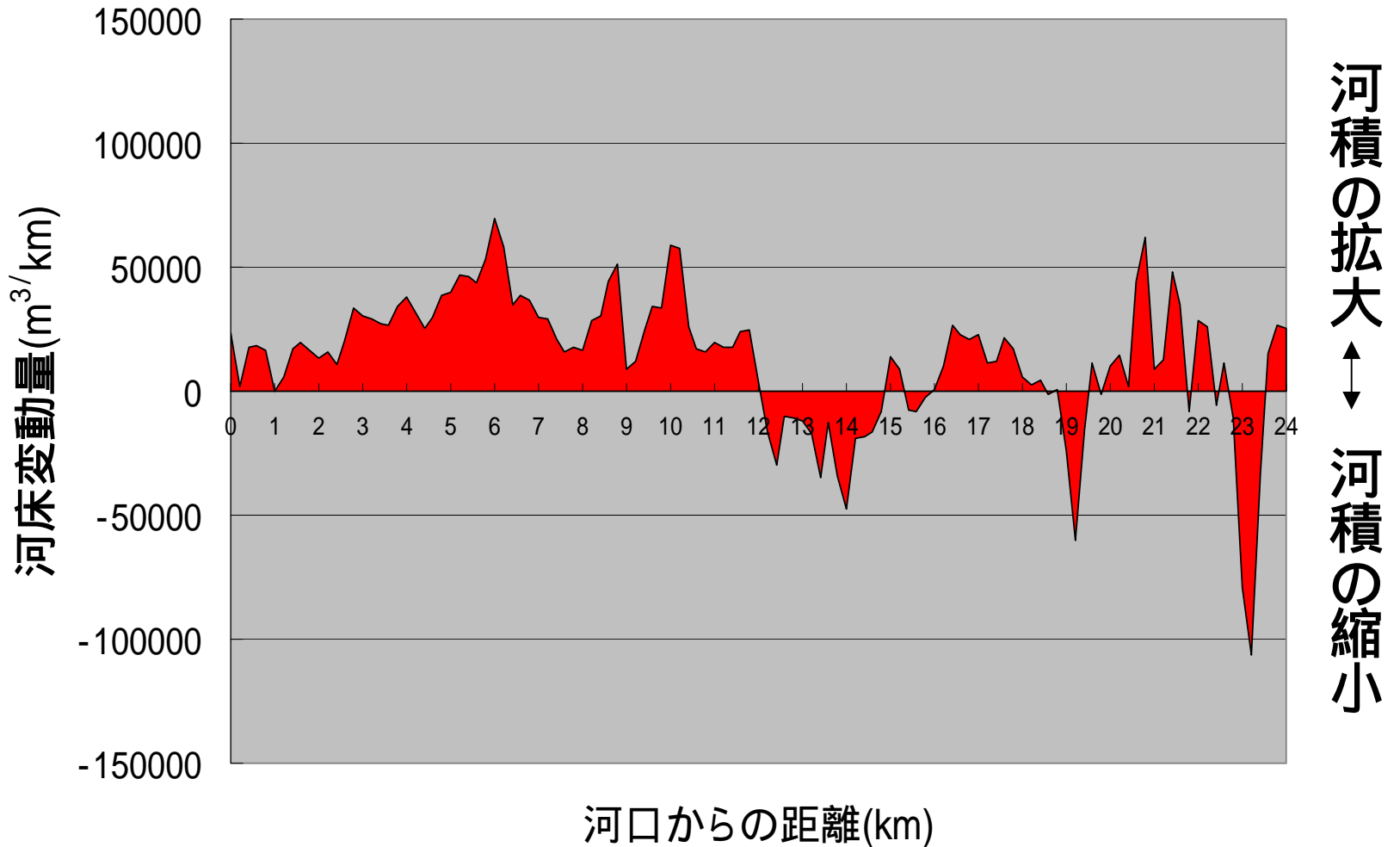
$(V_{48} - V_{43}) < 0$ 掘れている

$(V_{48} - V_{43}) > 0$ 堆積している

断面データはS43, S48, S54, S63, H07の5ヶ年分あるので4つの変動量を総和して、昭和43年から平成7年までの土砂収支とした。

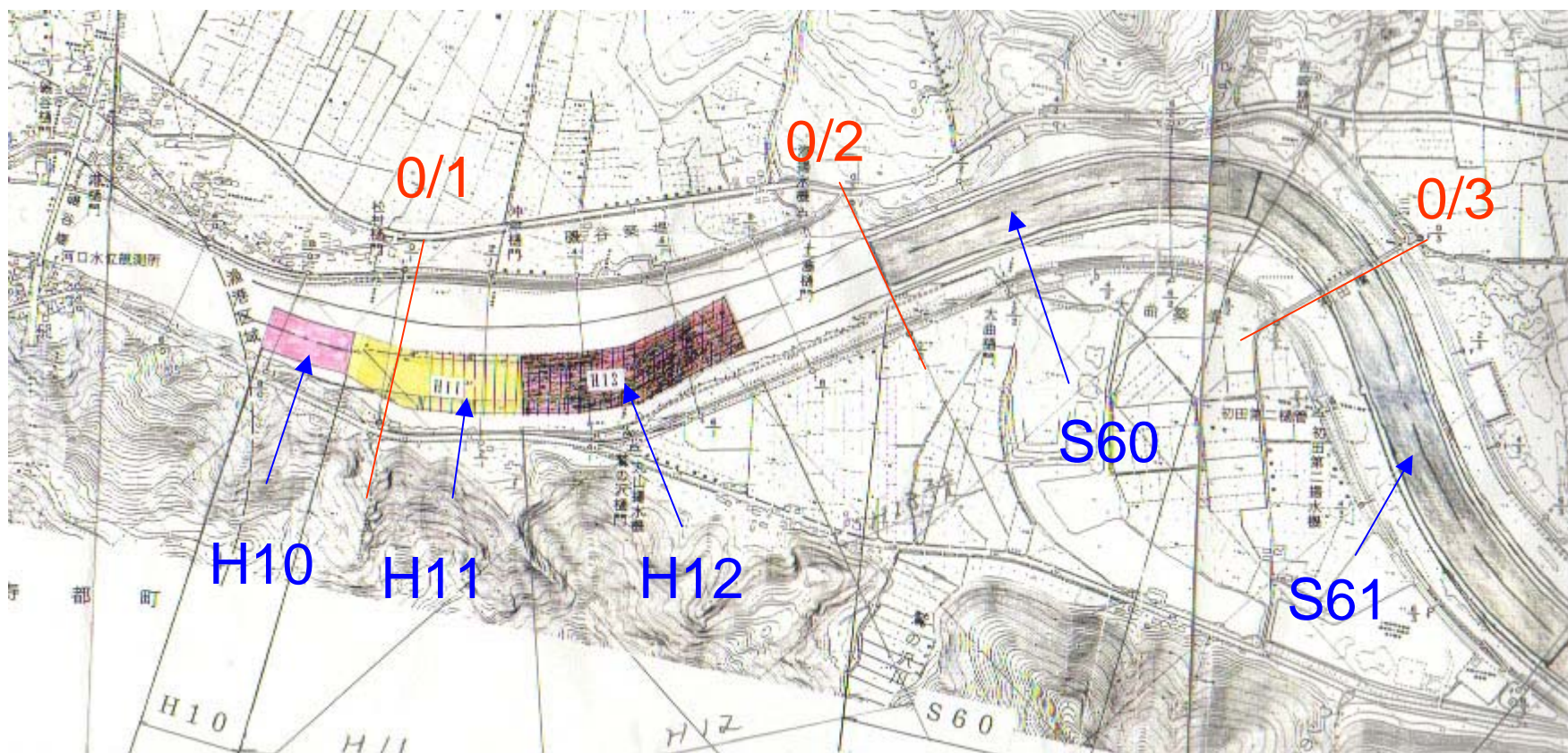
なお浸透土砂量は流下方向の距離に関して均等に配分した。

河積変動量 1973 ~ 1995



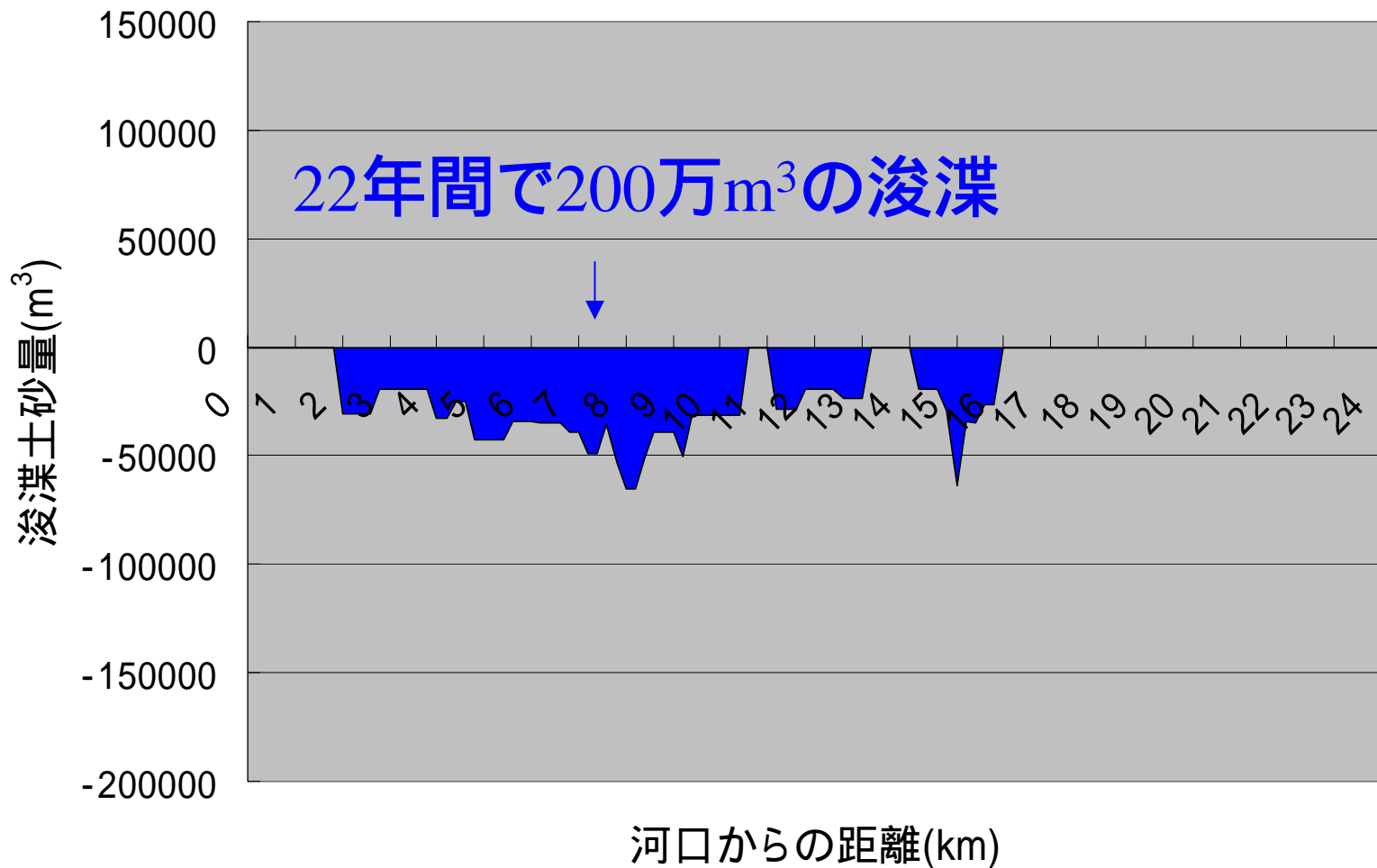
年別浚渫土量

年 度	浚 渫 土 量 (㎡)
S 5 3	1 0, 4 0 0
S 5 4	8 0, 8 0 0
S 5 5	8 7, 7 0 0
S 5 6	7 9, 2 0 0
S 5 7	8 5, 6 0 0
S 5 8	7 8, 0 0 0
S 5 9	7 0, 6 0 0
S 6 0	1 2 2, 4 0 0
S 6 1	9 6, 0 0 0
S 6 2	1 5 7, 1 0 0
S 6 3	1 7 6, 6 0 0
H 1	1 7 2, 0 0 0
H 2	1 3 8, 5 0 0
H 3	1 0 5, 9 0 0
H 4	1 0 7, 8 0 0
H 5	1 5 8, 9 0 0
H 6	1 9 5, 4 0 0
H 7	1 2 0, 8 0 0
H 8	6 3, 5 0 0
H 9	8 5, 3 0 0
H 1 0	3 7, 5 0 0
計	2, 2 3 0, 0 0 0



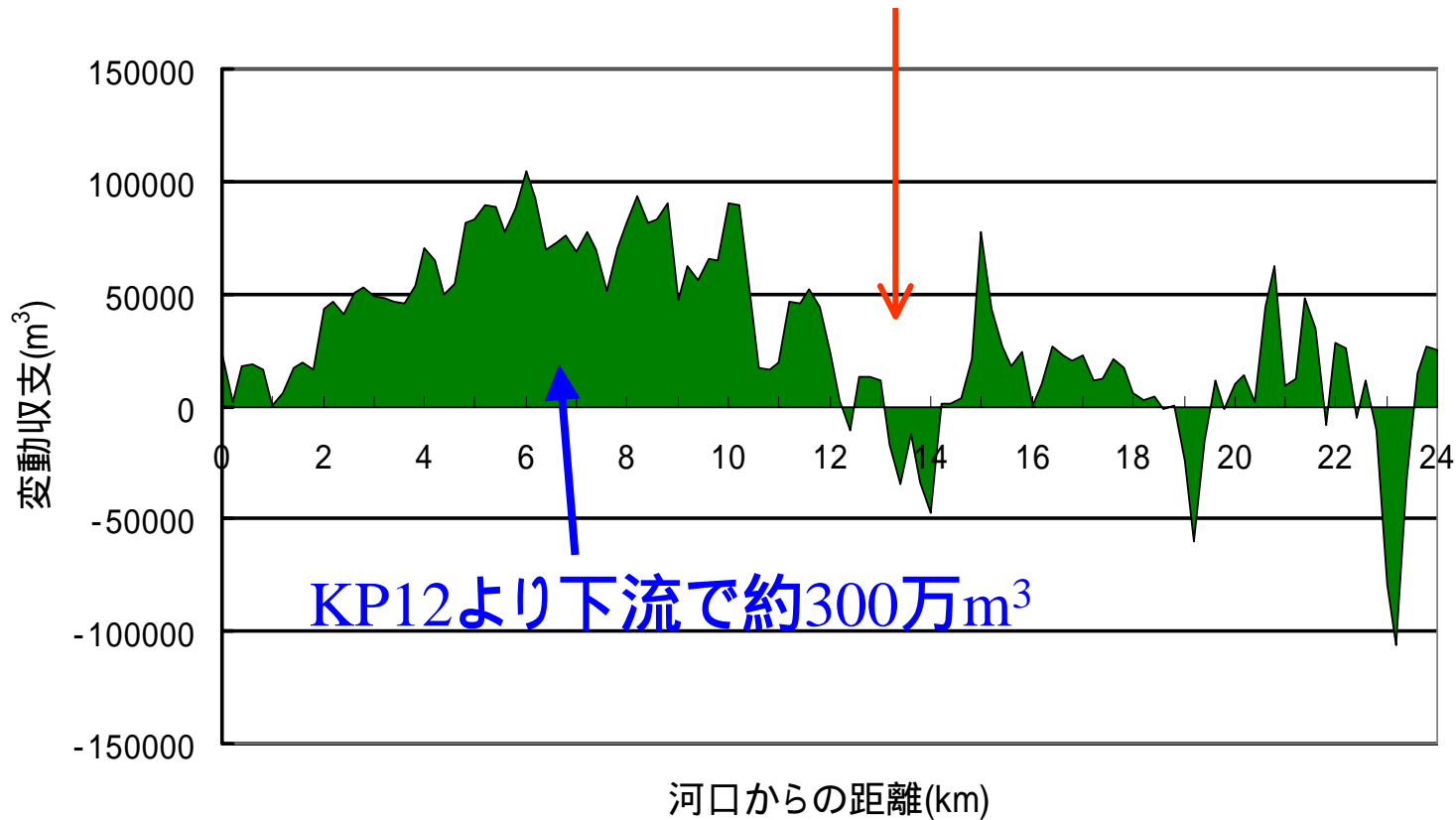
過去22年間で約200万 m^3 の浚渫(1973 ~ 1995, Kp0 ~ 24)

浚渫土砂量 1973 ~ 1995



土砂収支 (変動量 + 浚渫量) 1973 ~ 1995

目名川合流点



1次元河床変動モデル (浮遊砂・掃流砂を含む混合粒径モデル) の尻別川への適用と土砂流出量の推定

基礎式

- 1次元不等流の式
- 粒径別掃流砂・浮遊砂量式
 - 掃流砂量式: 芦田・道上の式
 - 浮遊砂量式: 板倉・岸の式
- 粒径別濃度連続式
- 粒径別流砂量連続式および全流砂の連続式

1次元不等流

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \right) + i_e = \frac{q_x Q}{gA^2}$$

x : 流下方向距離

Q : 流量

g : 重力加速度

H : 水位

A : 流積

α : エネルギー補正係数

q_x : 単位流路延長あたりの横流入流量

i_x : エネルギー勾配

掃流砂量式 (芦田・道上の式)

$$\frac{q_{Bi}}{\sqrt{sgd_i^3}} = p_i 17 \tau_{*i}'^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}} \right) \left(1 - \frac{u_{*ci}}{u_*} \right)$$

d_i : 砂粒子の粒径

q_{Bi} : 粒径別単位幅掃流砂量

s : 砂の水中比重

p_i : 粒径 d_i の粒子が河床 (交換層) に存在する割合

τ_{*i} : 粒径別無次元掃流力 ($= u_*^2 / sgd_i$)

τ_{*i}' : 粒径別無次元有効掃流力 ($= u_*'^2 / sgd_i$)

τ_{*ci} : 粒径別無次元限界掃流力 ($= u_{*ci}^2 / sgd_i$)

u_*' : 有効摩擦速度

u_{*ci} : 粒径別限界摩擦速度

浮遊砂量式(板倉・岸の式)

$$q_{sui} = p_i K \left(\alpha_* \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \frac{g d_i}{u_*'} \Omega_i - w_{fi} \right)$$

$$\Omega_i = \frac{\tau_{*i}' \int_{a'}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi}{B_{*i} \int_{a'}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi} + \frac{\tau_{*i}'}{B_{*i} \eta_0} - 1$$

q_{sui} : 粒径別浮遊砂の単位面積あたりの河床からの浮上量

w_{fi} : 粒径別浮遊砂の沈降速度

ρ_s : 浮遊粒子の密度

ρ : 水の密度

B_{*i} : 揚力算定の際の速度に摩擦速度 u_* を適用するための換算係数

$a' = B_{*i} / \tau_{*i}' - 1 / \eta_0$, $\eta_0 = 0.5$, $\alpha_* = 0.14$, $K = 0.008$

粒径別浮遊砂濃度の連続式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\langle c_i \rangle h) + \frac{1}{B} \frac{\partial (Q \langle c_i \rangle)}{\partial x} = q_{sui} - w_{fi} c_{bi} + \frac{q_x \langle c_{xi} \rangle}{B}$$

t : 時間

c_{bi} : 河床付近の粒径別浮遊砂濃度

$\langle c_i \rangle$: 水深平均の粒径別浮遊砂濃度

$\langle c_{xi} \rangle$: 支川等からの横流入浮遊砂量の粒径別水深平均濃度

粒径別流砂の連続式

$$\delta \frac{\partial p_i}{\partial t} + p_i^* \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{1}{B} \frac{\partial (q_{Bi} B)}{\partial x} + q_{sui} - w_{fi} c_{bi} - \frac{q_x c_{Bxi}}{B} \right] = 0$$

η : 河床高

δ : 交換層の厚さ

λ : 河床材料の空隙率

c_{Bxi} : 粒径別横流入掃流砂濃度

全流砂の連続式

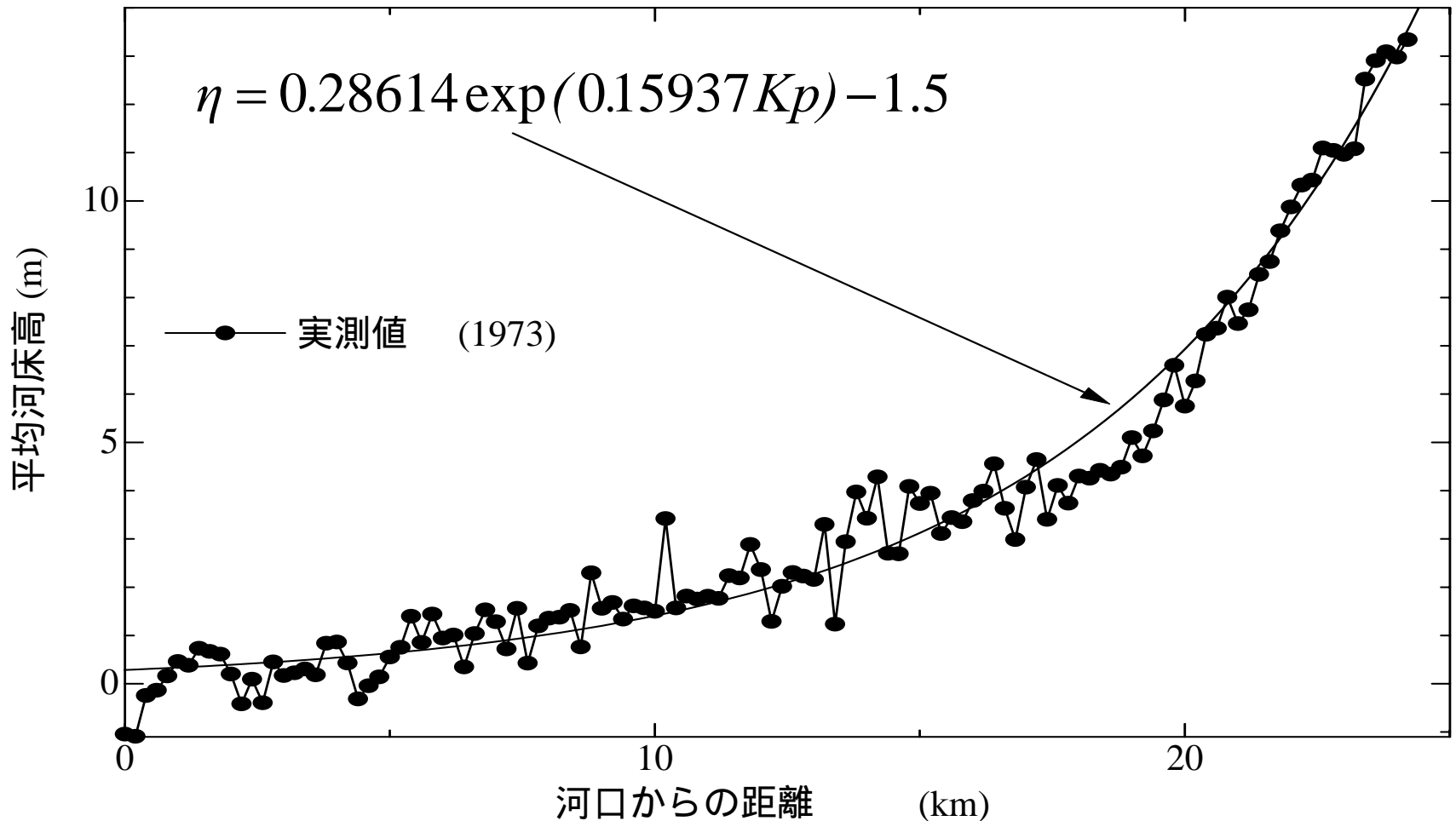
$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{1 - \lambda} \left[\frac{1}{B} \frac{\partial \sum_i (q_{Bi} B)}{\partial x} \sum_i (q_{sui} - w_{fi} c_{bi}) - \frac{\sum_i (q_x c_{Bxi})}{B} \right] = 0$$

\sum_i は粒径別の量を合計した量であることを示す。

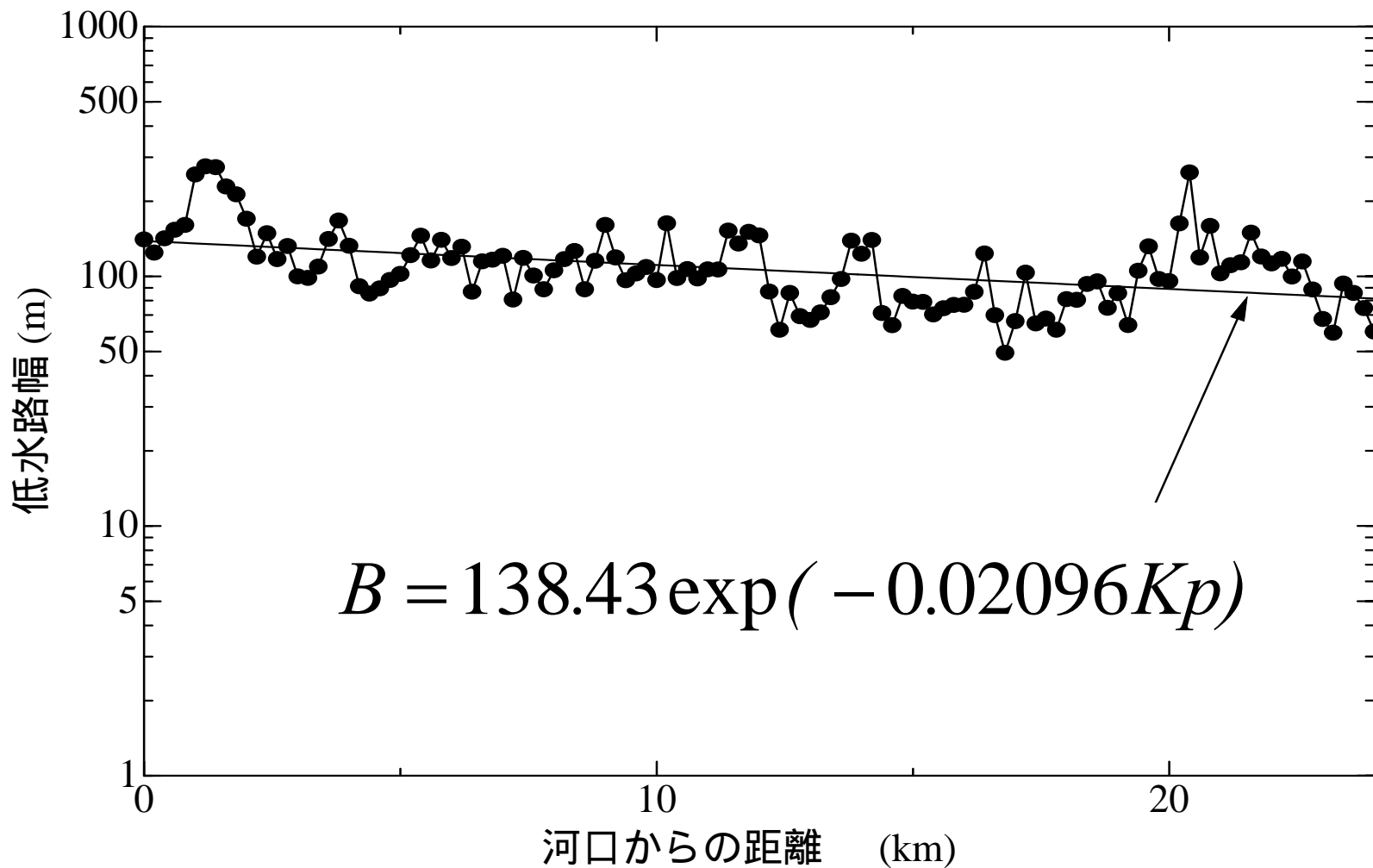
計算条件

- 上流端での流砂の動的平衡状態
その場の掃流力から計算される流砂量を与える
- 支川からの流入は考慮しない
計算する河道の延長距離が24kmと比較的短いため、流量分布は河口から上流端まで一定とした
- 下流端水位は河口水位の実測値
- 下流端の流砂量は自由流出条件
- 計算期間は1973～1995年の22年間
- 日流量を用いた計算

平均河床高 (1973年の実測値と近似式)



低水路幅 (1973年の実測値と近似式)



計算条件および計算手法

- 計算の初期河床高

$$\eta = 0.28614 \exp(0.15937 Kp) - 1.5$$

η : 平均河床高の標高(m)

Kp : 河口からの距離(km)

- 計算上の河幅(低水路幅)

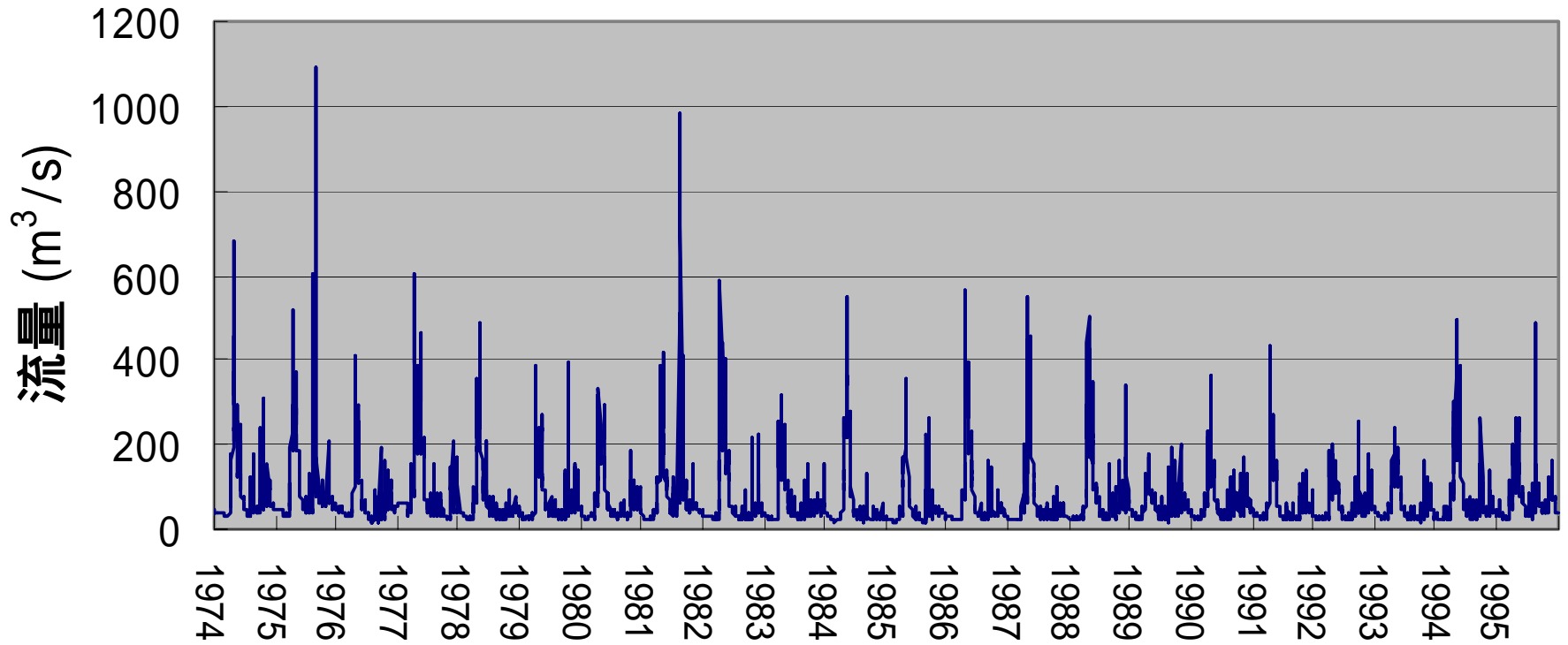
$$B = 138.43 \exp(-0.02096 Kp)$$

B : 低水路幅(m)

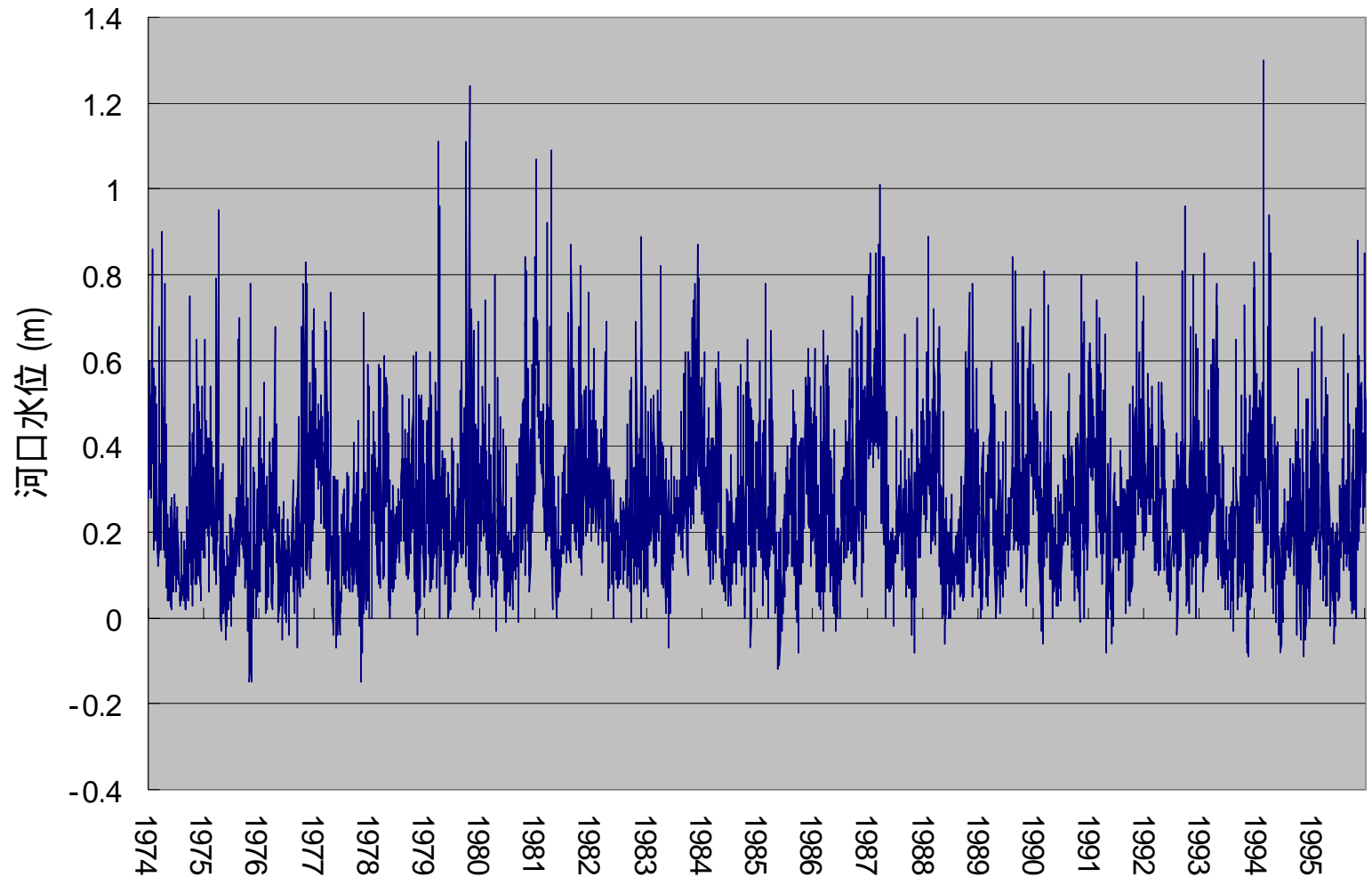
計算条件および計算手法

- **流量・水位**
 - 1974年～1995年の実測データ(日流量・日平均水位)を逐次与えて計算を行った
- **計算区間・時間・断面数**
 - 計算区間は河口から24kmの区間
 - 計算時間は22年間
 - 計算断面数は121断面、断面間距離は200mである

計算に用いた流量



計算に用いた河口水位

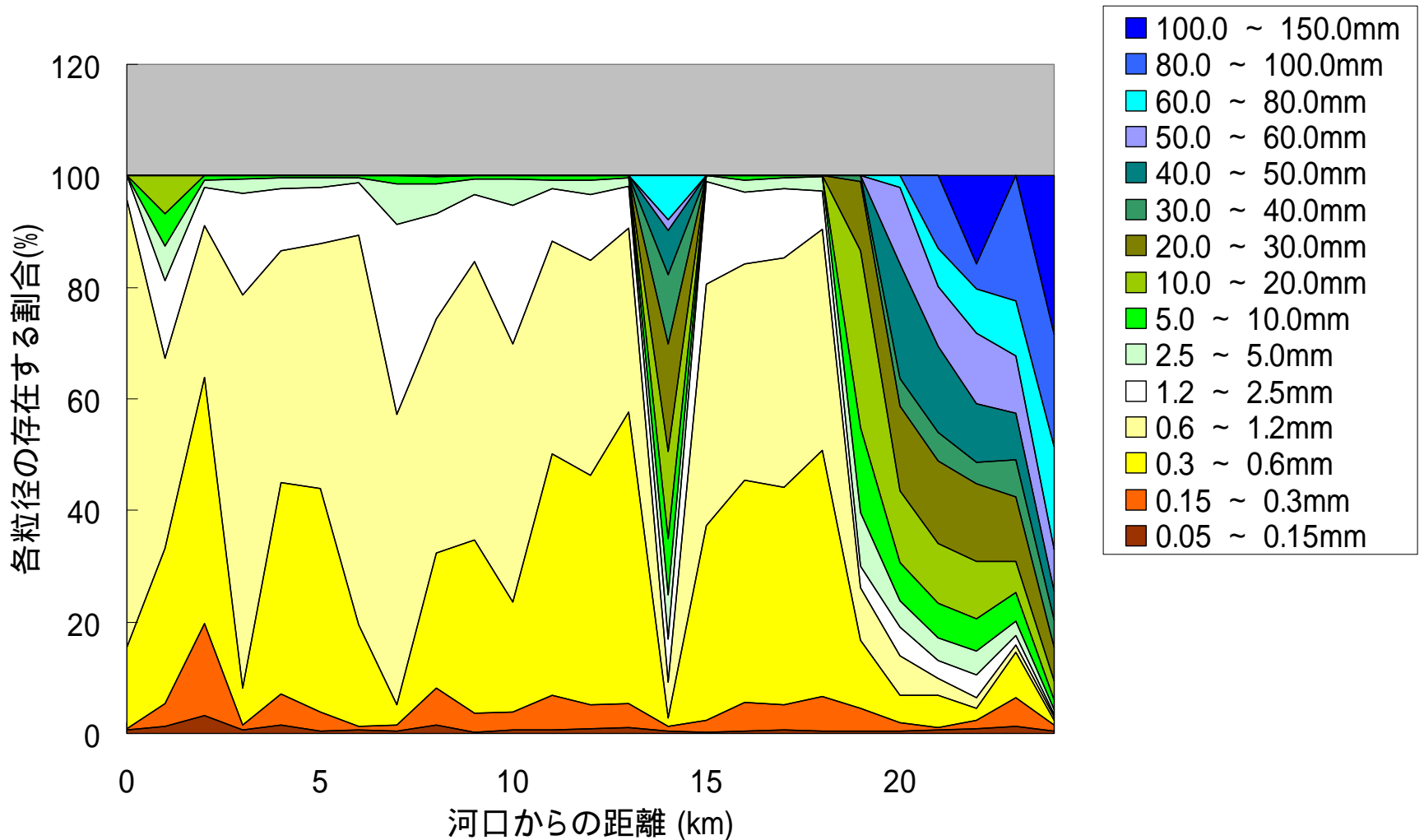


河床材料(土砂の粒径区分 単位:mm)

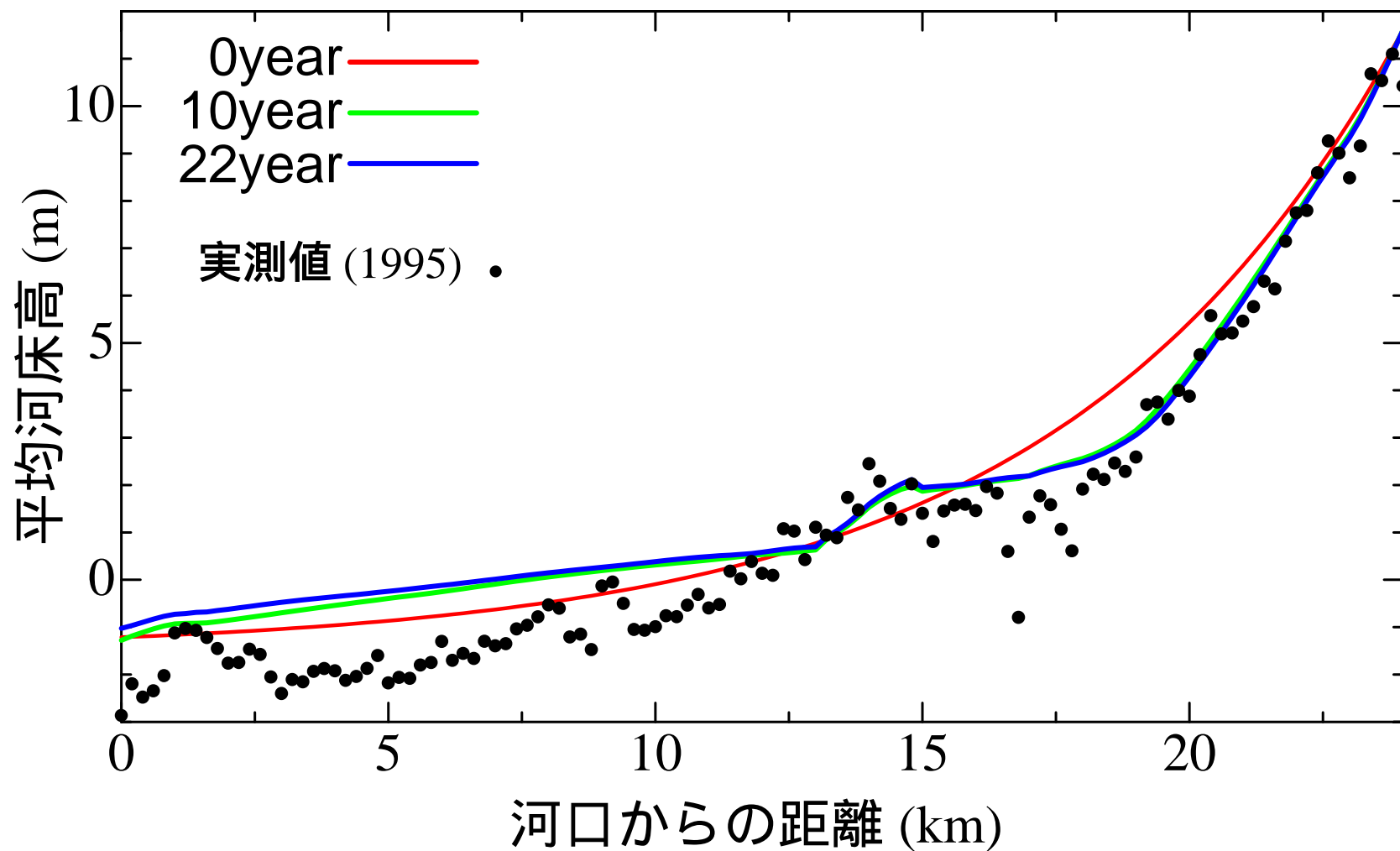
番号	粒度範囲	代表粒径
1	0.05 ~ 0.15	0.1
2	0.15 ~ 0.3	0.225
3	0.3 ~ 0.6	0.45
4	0.6 ~ 1.2	0.9
5	1.2 ~ 2.5	1.85
6	2.5 ~ 5.0	3.75
7	5.0 ~ 10.0	7.5
8	10.0 ~ 20.0	15.0

番号	粒度範囲	代表粒径
9	20.0 ~ 30.0	25.0
10	30.0 ~ 40.0	35.0
11	40.0 ~ 50.0	45.0
12	50.0 ~ 60.0	55.0
13	60.0 ~ 80.0	70.0
14	80.0 ~ 100.0	90.0
15	100.0 ~ 150.0	125.0

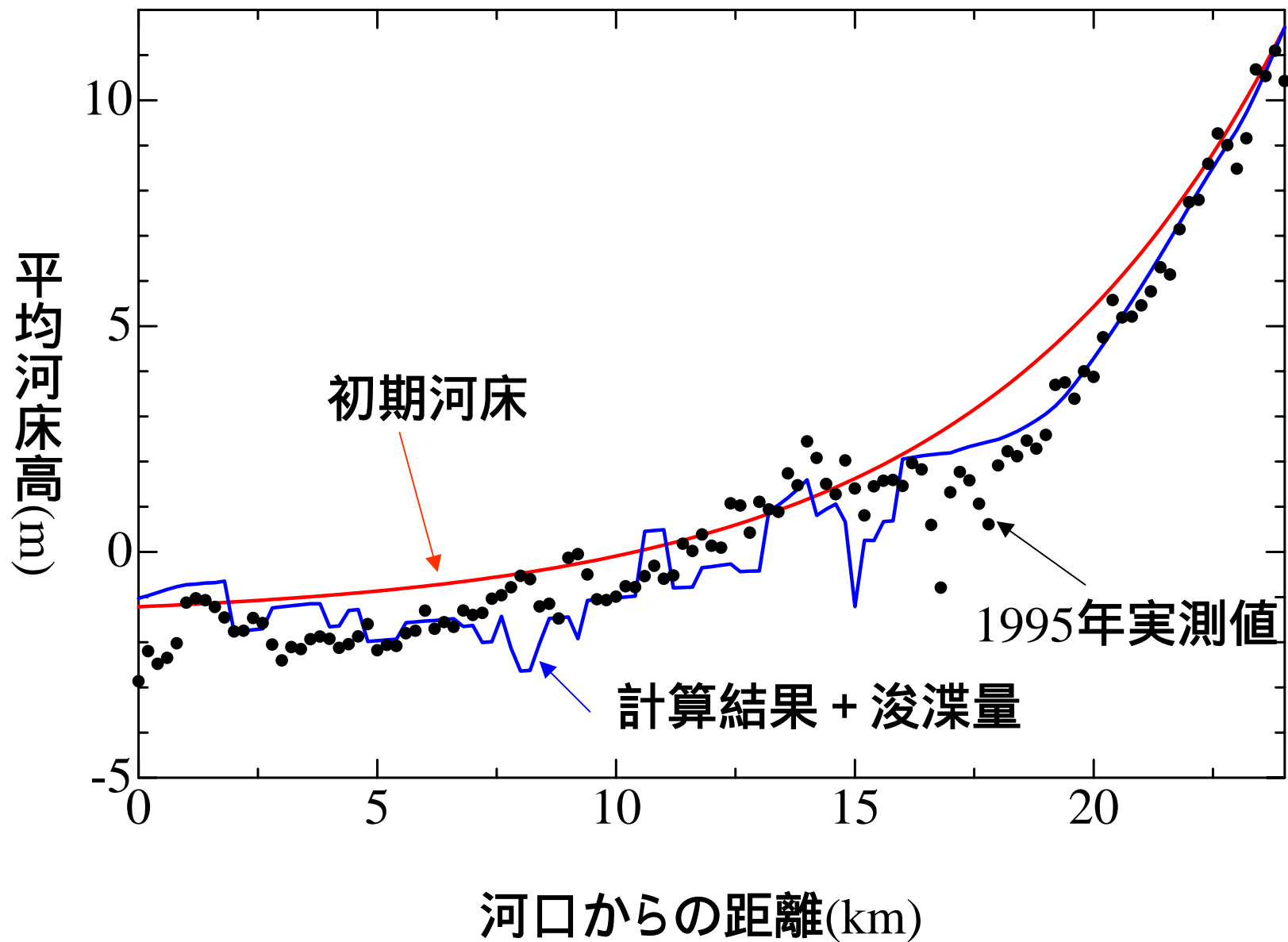
初期河床材料粒度分布 (1972年実測値)



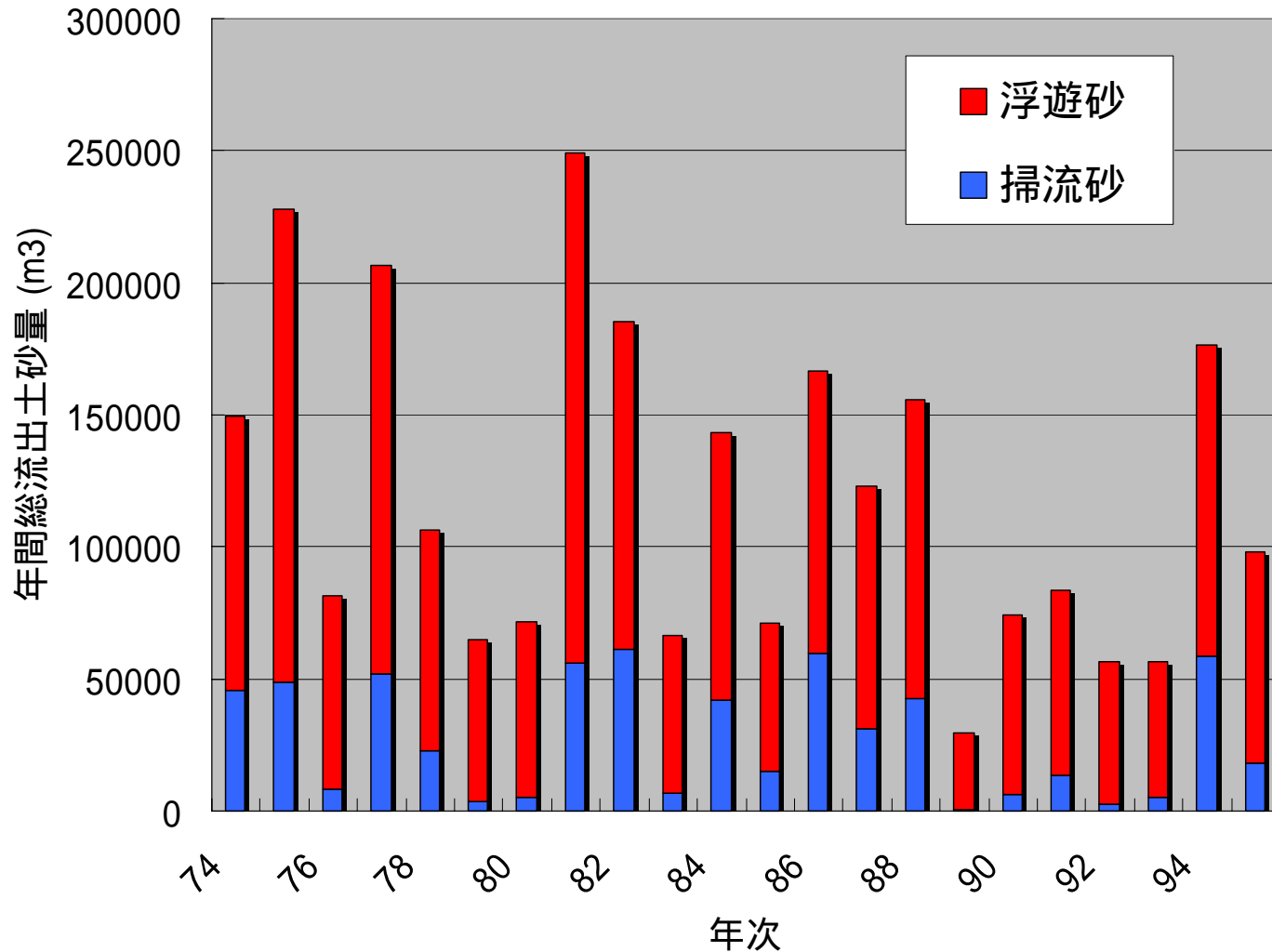
計算結果・河床高



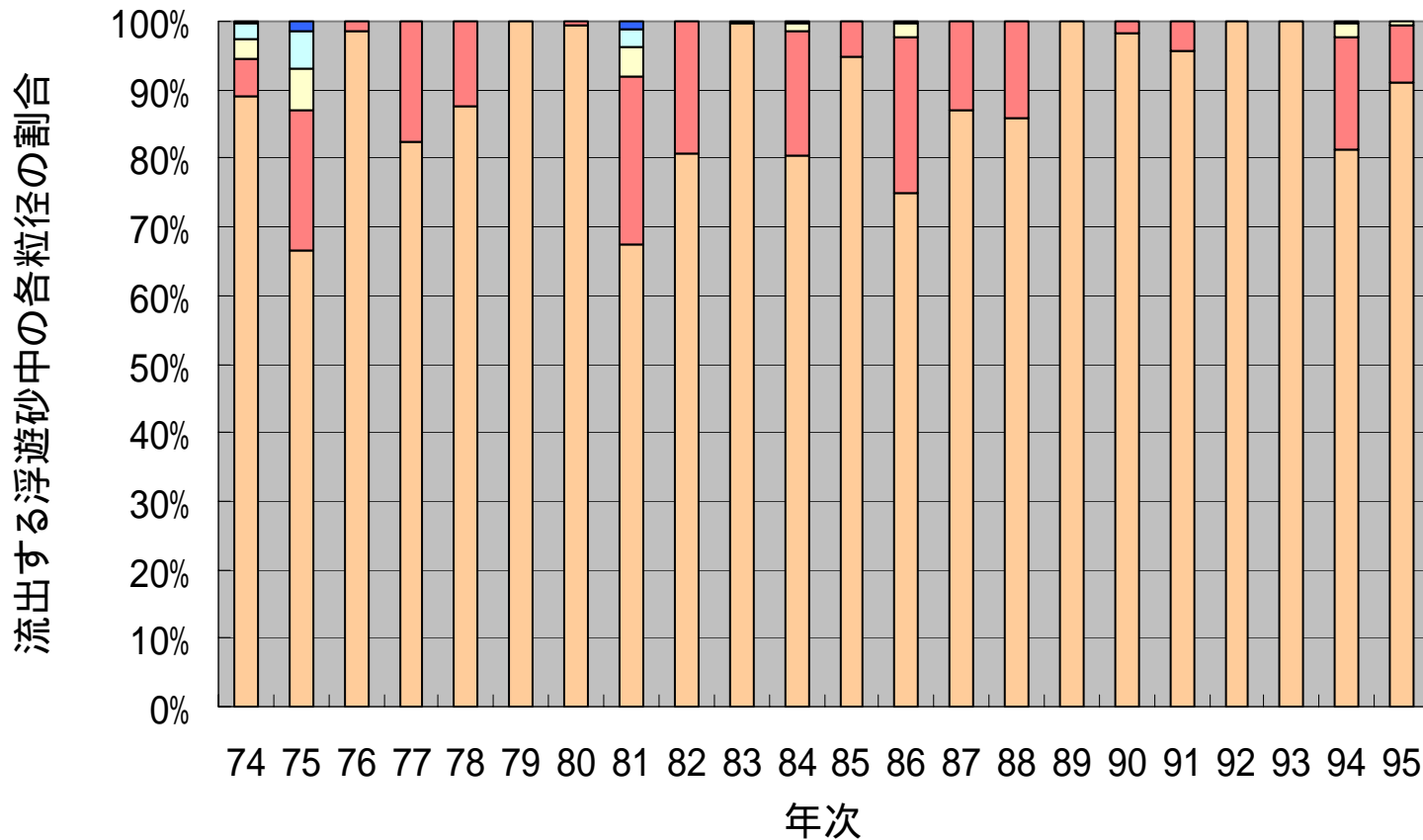
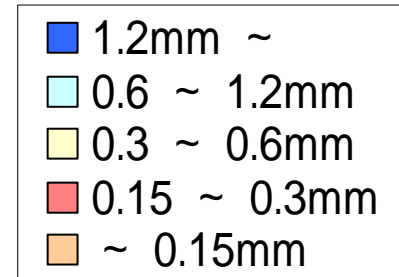
計算結果に浚渫量を加算する



計算結果による 河口からの年間総流出土砂量



計算結果・流出土砂量の 粒径別割合

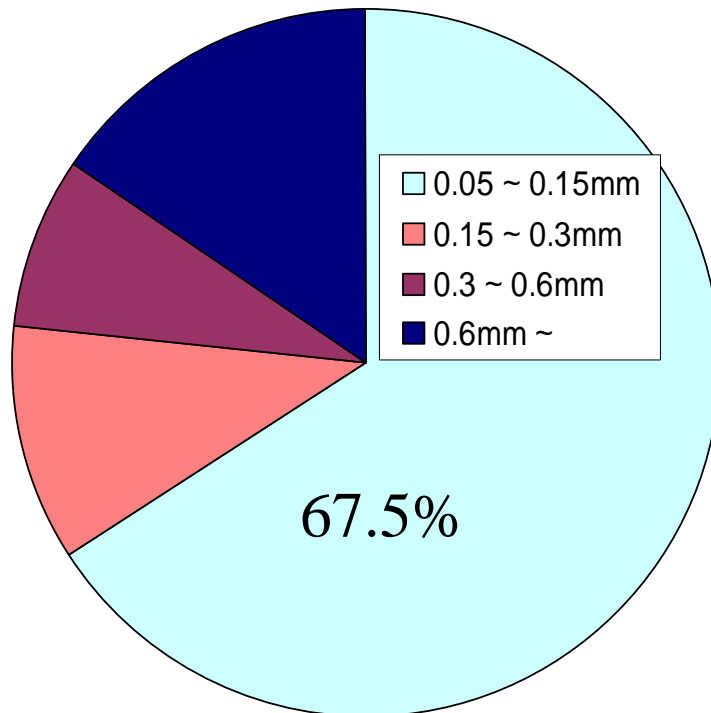


土砂流出特性のまとめ

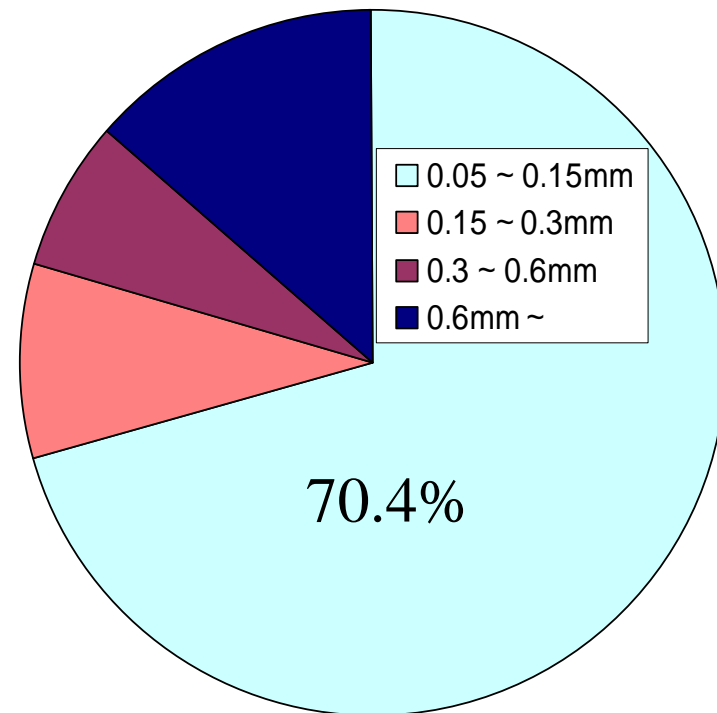
- ・ 過去22年間流量を用いた河床変動計算の結果、KP15より上流は河床低下、下流は堆積の結果が得られた。
- ・ 上流の侵食の度合いは実測データとよく一致しており、下流部の堆積も、実績の浚渫土量を考慮することにより、現実に一致した結果が得られた。
- ・ 計算結果によれば、尻別川の河口から海域に流出する土砂量は年平均で、10万 m^3 程度、出水のあった年では20～25万 m^3 程度と推定される。
- ・ その大部分は粒径0.2mm以下の細粒成分である。

(2) 海域への土砂流出特性の検討

流出土砂の粒径別割合

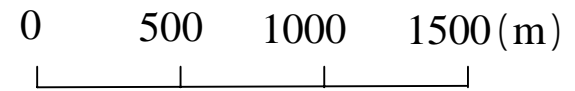
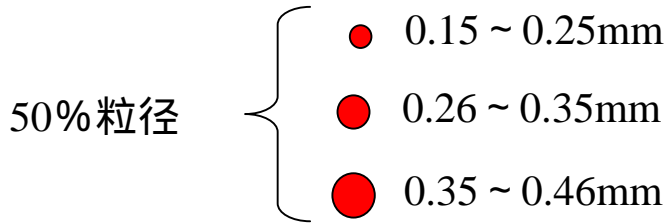
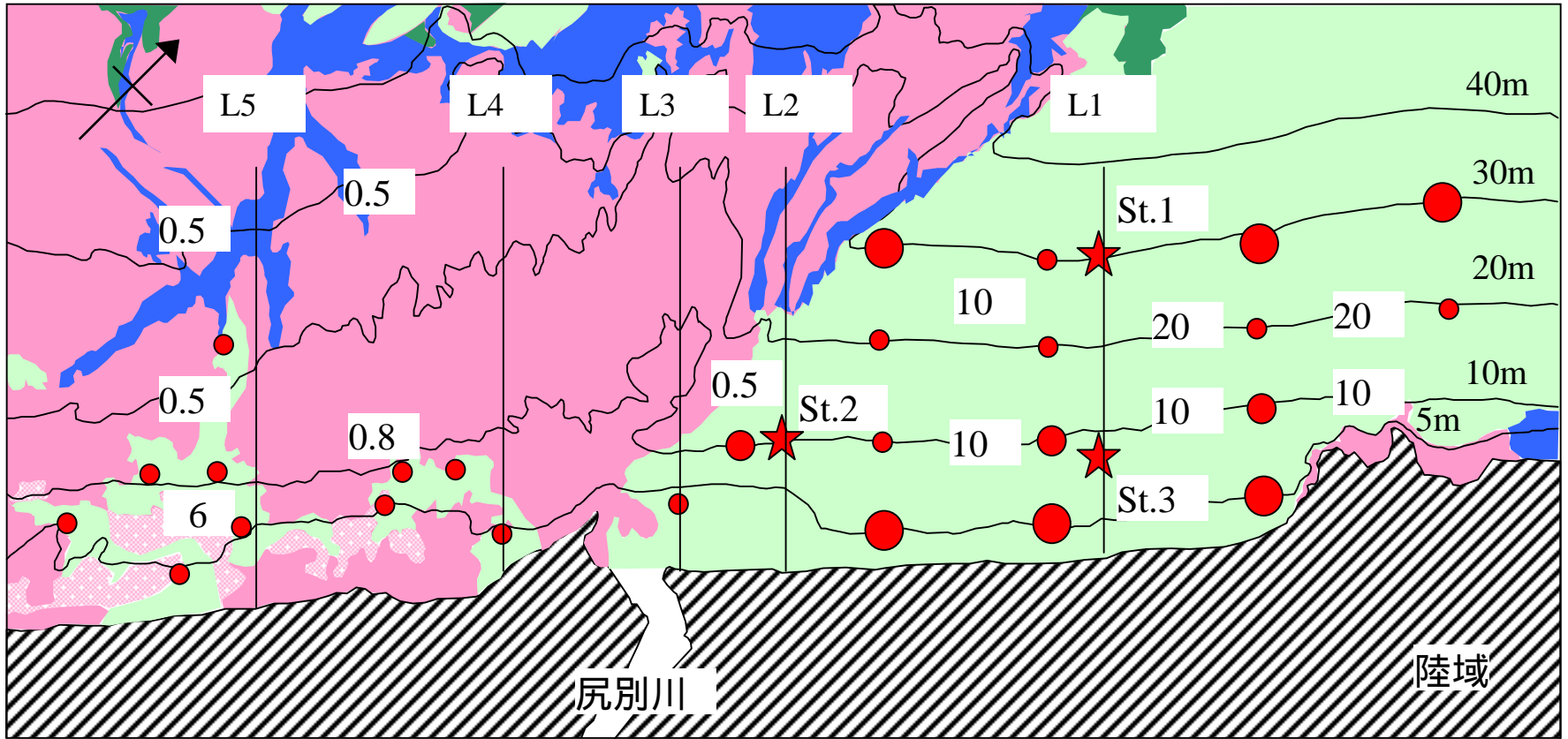


浚渫考慮せず

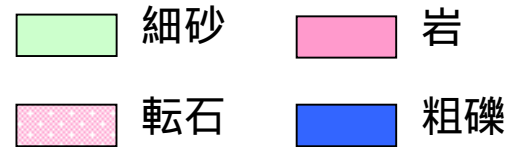


浚渫考慮

浅海海底砂成分は0.15mm以上の砂
浚渫により、0.15mm以上の粗粒砂成分の流出が減少



白抜きの中の数値は砂層厚 (m)

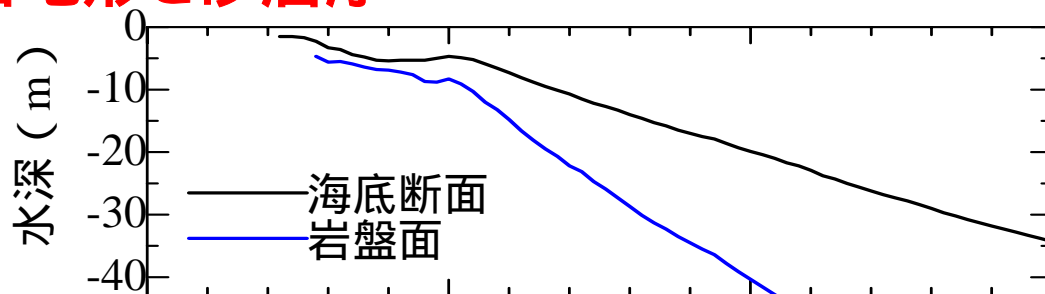


広域底質, 海浜地形, 砂層厚

★ wave-hunter, ADCP, 砂面計, 濁度計, ACM-8M

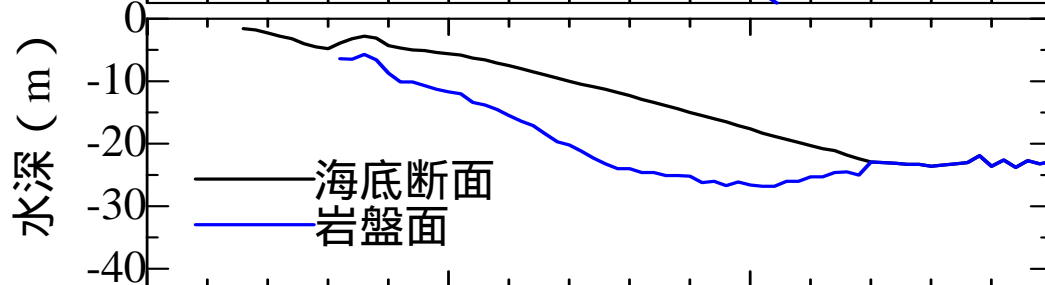
海底断面地形と砂層厚

L1

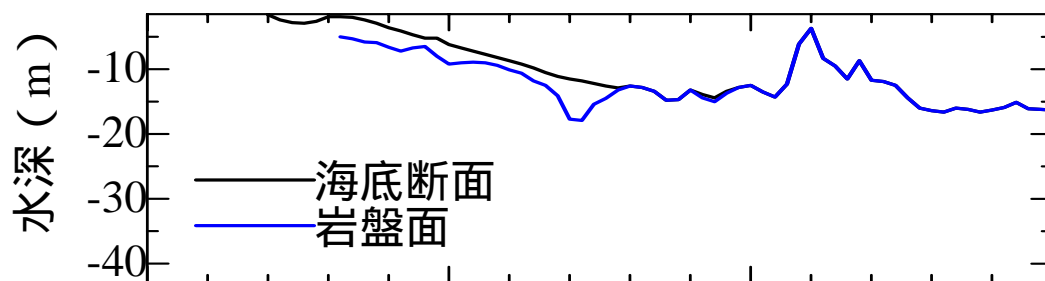


砂浜域

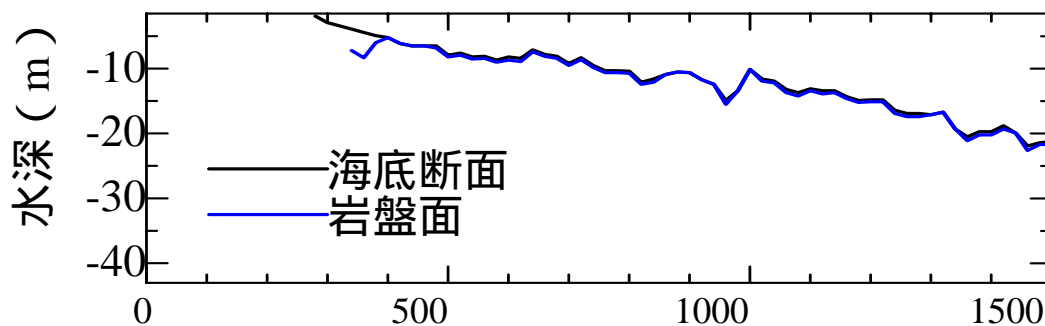
L2



L3



L4

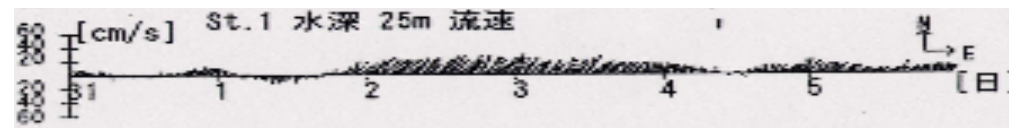


基線からの距離 (m)

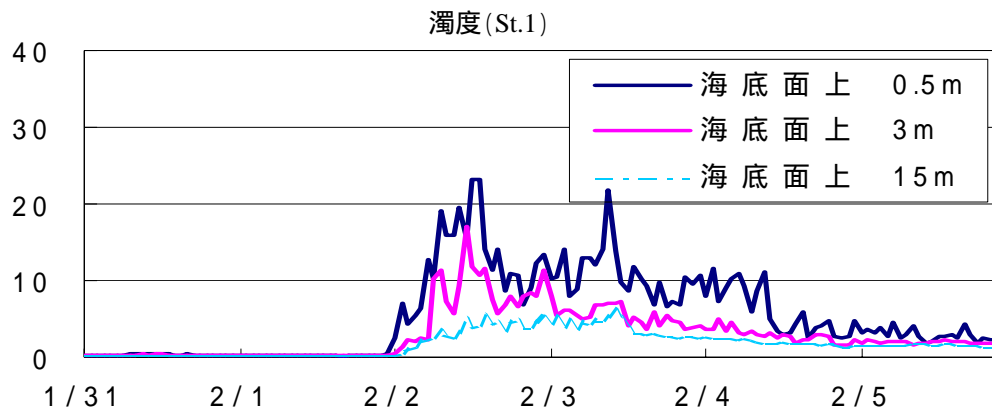
ST1での流動と漂の観測結果



2001年2月2日には観測期間最大の有義波高5m



水深30mと深い地点にも
かかわらず、10cm程度侵食されています



この海域の底質が0.2mm～0.4mm程度と粗いためここで示

した同時期のカオリン換算の濁度は小さいが水深10mの地点の2/3程度の値をしめしており、

水深30mの地点でも強い砂移動が発生していることわかります。

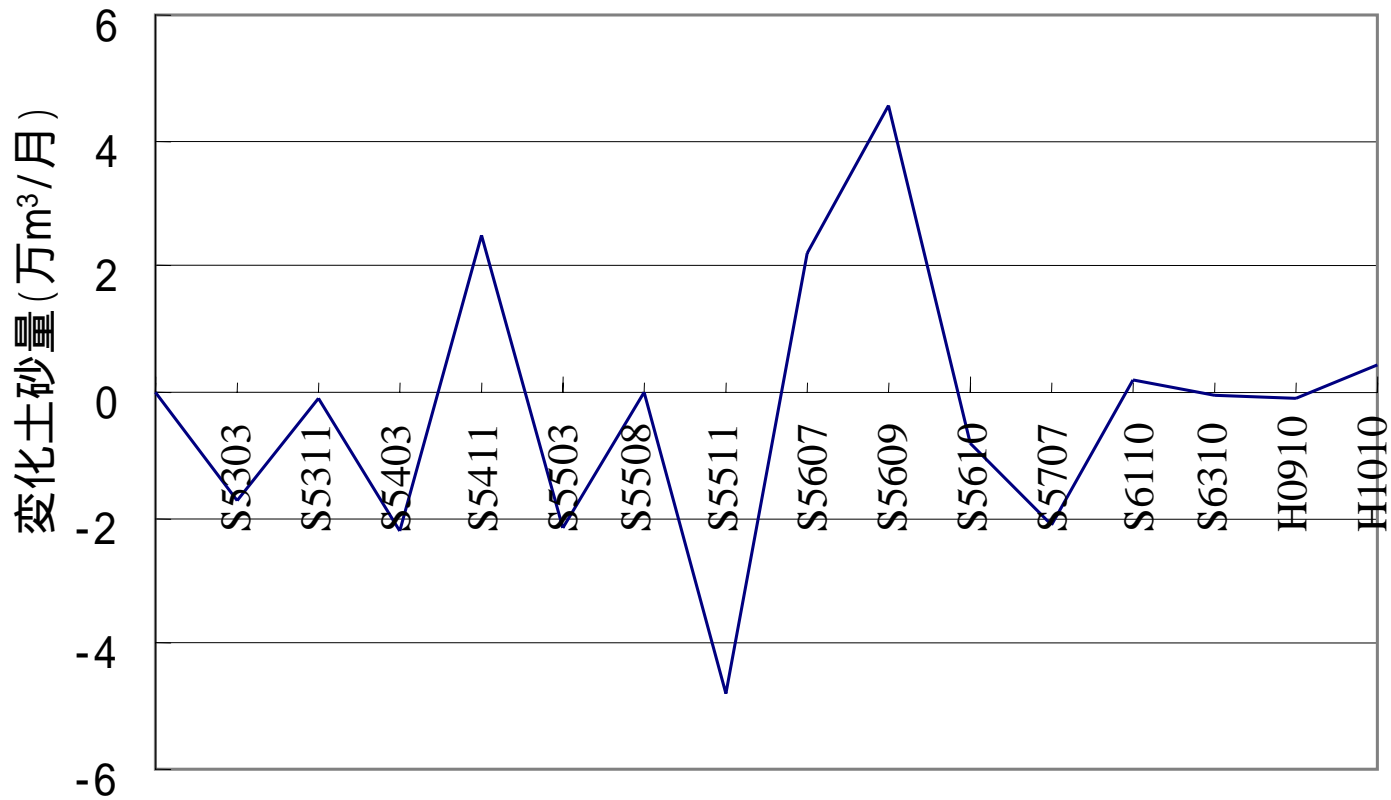
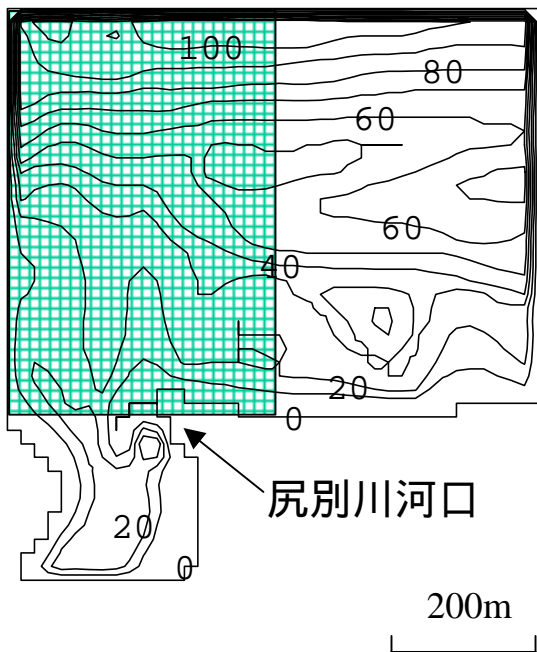


図 - 9 尻別川河口前面の変化土砂量

S56.7



S56.9

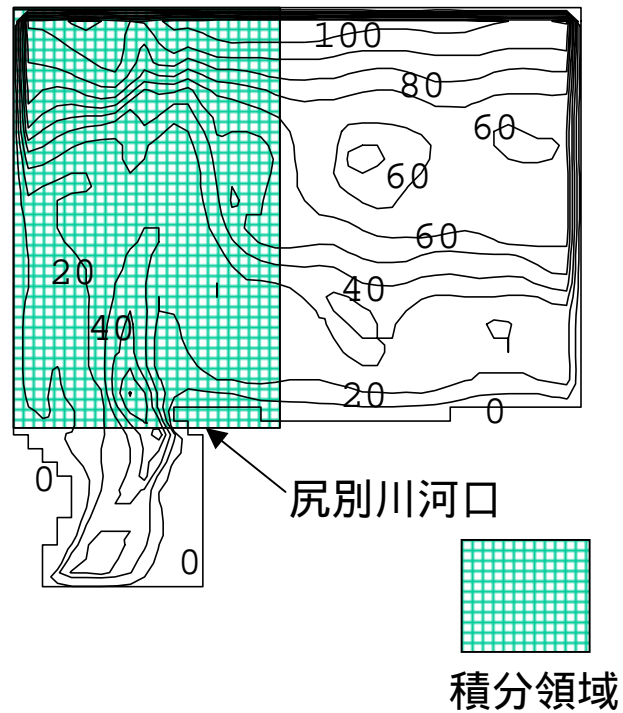
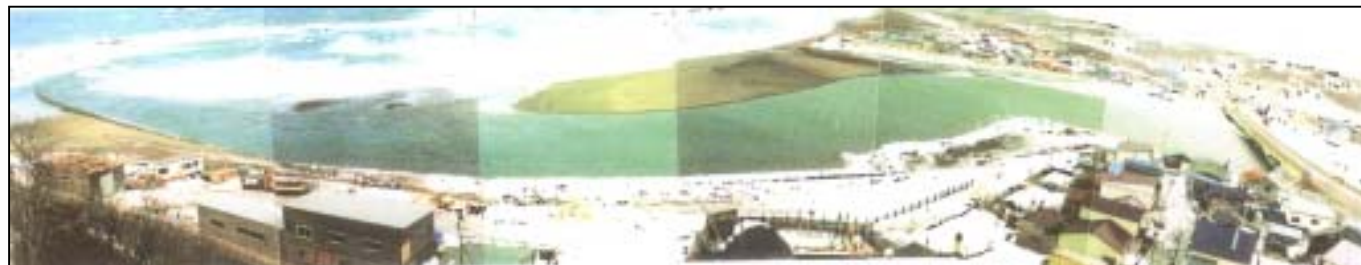


図 - 10 洪水前後の海底地形

3. 尻別川河口地形・水理特性に対する導流堤の効果

(1) 導流堤建設による河口地形の変化

導流堤建設前の河口砂州(1/2)



(a) 1996年1月11日



(b) 1996年2月13日



(c) 1996年4月12日

導流堤建設前の河口砂州(2/2)



(d) 1996年5月15日



(e) 1996年7月16日



(f) 1996年8月20日

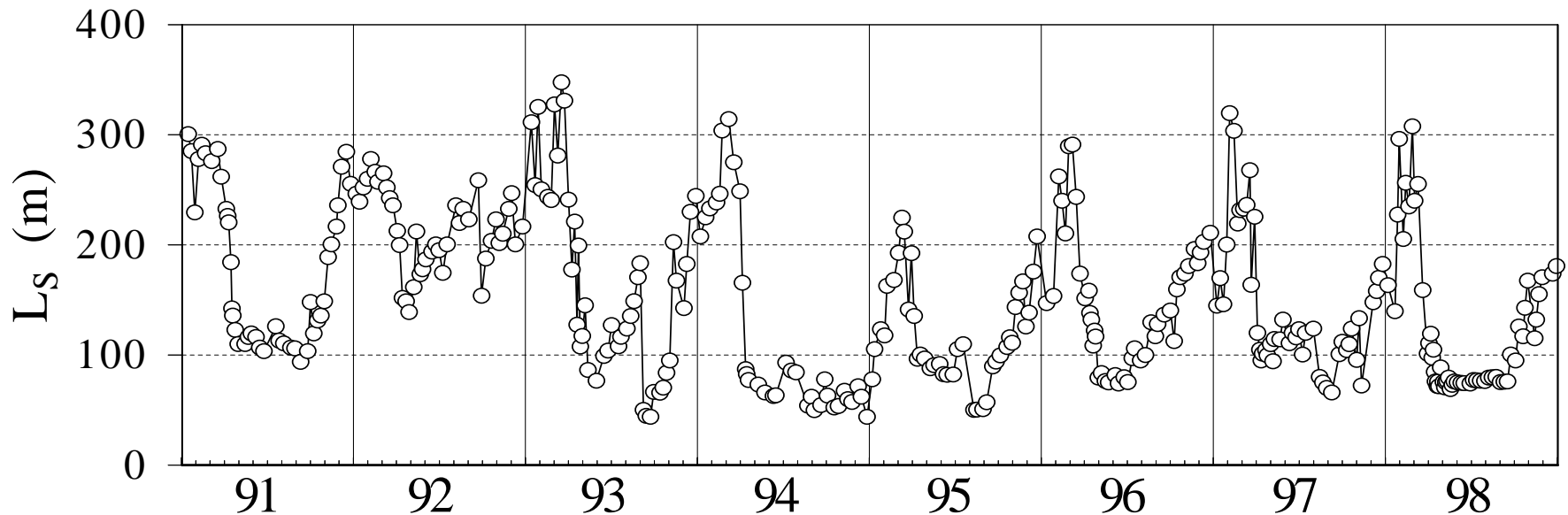


(g) 1996年11月8日



(h) 1996年12月10日

1991年から1998までの砂州長さの変化



- ・融雪出水による砂州フラッシュ
- ・秋季・冬季の砂州伸長

導流堤建設

工事開始

1999年7月27日



1999年8月30日



竣工

1999年10月21日



導流堤建設後の河口砂州



(a) 2000年1月15日



(b) 2000年3月19日



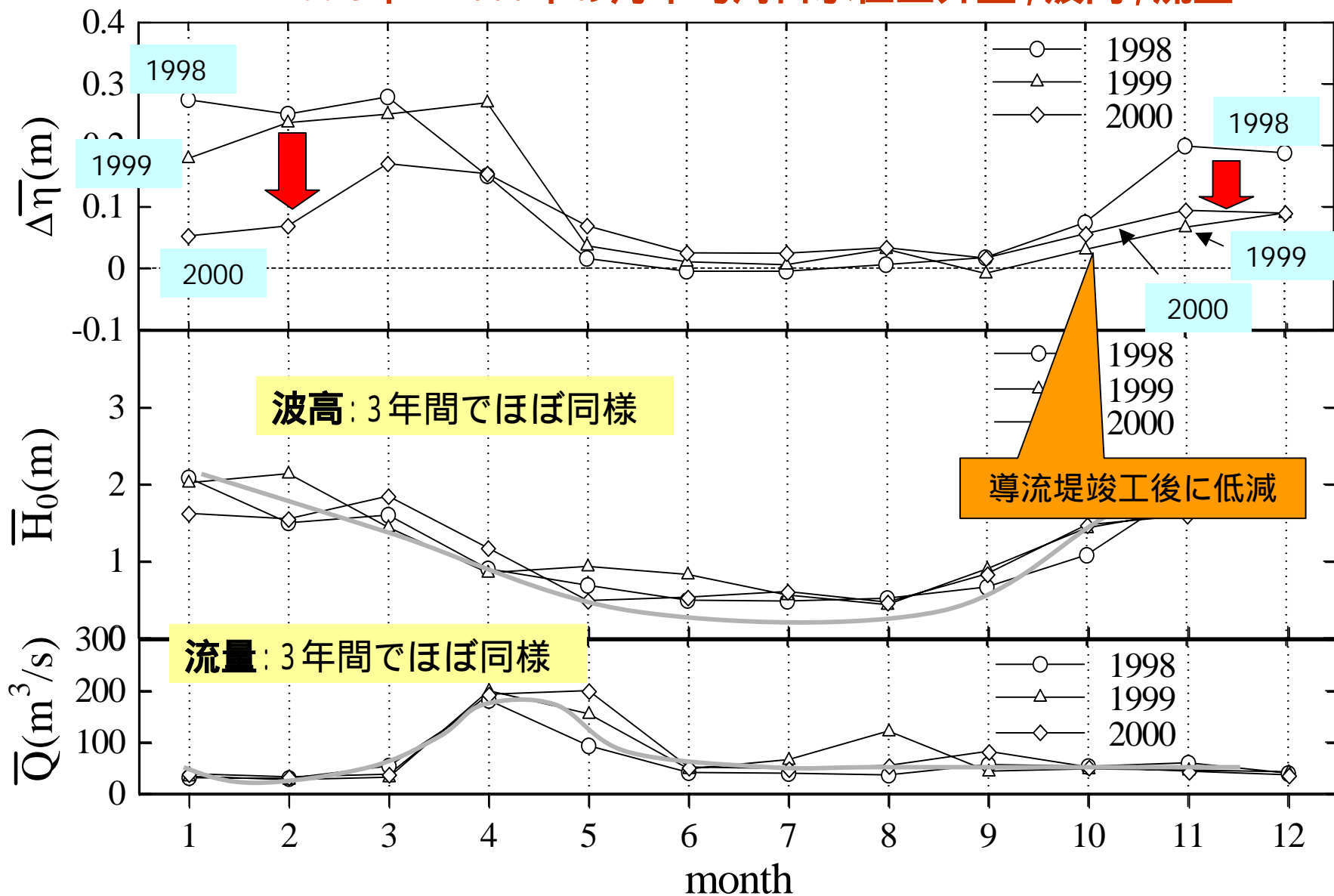
(c) 2000年7月14日



(d) 2000年10月13日

(2) 水位変動特性

1998年～2000年の月平均河口水位上昇量, 波高, 流量



(水位上昇量)/(波高)の変化

導流堤建設前・建設後

